PAM 91(08) : (*3) 1959 INT'L GLACIOLOGICAL EXP. GREENLAND
class (*38)

Sonderabdruck aus der „Zeitschrift für Vermessungswesen“
85. Jahrgang 1960, Heft 8
(Verlag von Konrad Wittwer in Stuttgart)

PAM 91(08) : (*3) [1959 INT'L. GLACIOLOGICAL EXP. GREENLAND]
MALZEK

GLACIOLOGIQUE INTERNATIONALE AU GROENLAND
Secrétariat général
Prof. A. BAUER
46, rue Geiler
STRASBOURG
Bas-Rhin - FRANCE
Tél. 35 27 00

Die Höhenmessung bei der Sommerkampagne 1959 der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition (EGIG)

Von H. Mälzer, Karlsruhe

Vorwort

Die Expédition Glaciologique Internationale au Groenland (EGIG) ist ein gemeinsames Unternehmen von 5 Ländern: Dänemark, Frankreich, Schweiz, Österreich und Deutschland. Sie wurde von Dänemark gebilligt und steht unter dem Patronat der Commission des Neiges et des Glaces (Association Internationale d'Hydrologie Scientifique-Union Géodésique et Geophysique Internationale). Die gesamte technische Organisation und Durchführung lagen in den Händen der Expéditions Polaires Francaises (EPF), deren Direktor, Paul-Emile Victor, auch zugleich Expeditionsleiter der EGIG ist. Die Verwirklichung der EGIG war nur möglich mit Unterstützung der französischen Armée de l'Air, die den gesamten, umfangreichen Lufttransport durchführte.

Die EGIG wird von einem Direktionskomitee geleitet, in dem die beteiligten Länder vertreten sind und das u. a. das wissenschaftliche Programm aufstellte und ausarbeitete. Dem Bureau des Direktionskomitees gehörten während der Sommerkampagne 1959 an:

Präsident:	Prof. Dr. R. Finsterwalder, Deutschland;
Vizepräsident:	Dr. B. Fristrup, Dänemark;
Generalsekretär:	Prof. A. Bauer, Frankreich;
Vertreter Dänemarks:	Dr. D. H. Larsen, Dänemark;
Expeditionsleiter:	P.-E. Victor, Frankreich.

Allgemeines

Grundlegend für alle wissenschaftlichen Arbeiten auf dem grönländischen Inlandeis während der Hauptkampagne der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition (EGIG) waren die geodätischen Messungen. Für die Erforschung des Inlandeises, d. h. seines Schnee- und Eishaushaltes, seiner Bewegung und Struktur, seiner Tiefe und seines Alters sind im Zusammenhang mit den geophysikalischen und glaziologischen Beobachtungen genaue Lage- und Höhenbestimmungen erforderlich. Diese beiden geodätischen Aufgaben wurden von 2 Arbeitsgruppen durchgeführt. Über die Arbeiten der Gruppe Lagemessung hat bereits W. Hofmann in dieser Zeitschrift berichtet [1]. Die vorliegende Abhandlung soll einen Überblick über die Aufgabe und die angewendeten Meßverfahren bei der Höhenmessung und ihre Durchführung geben. Die Ergebnisse können erst bekanntgegeben werden, wenn die gesamten Beobachtungen verarbeitet und die umfangreichen Auswertungen abgeschlossen sind. Sie sollen im Zusammenhang mit den anderen Expeditionsergebnissen in der dänischen Zeitschrift „Meddelelser om Grönland“ veröffentlicht werden.

Die bisher in arktischen Gebieten angewendete trigonometrische Höhenübertragung führte, wie H. Lichte gezeigt hat [2], nicht zu den genauen Ergebnissen, die heute von den Glaziologen gefordert werden, da die unterste Luftschicht über dem Eis- und Schneefeld sehr stark gestört ist und unliebsame Refraktionserscheinungen hervorruft. Die Genauigkeit der barometrischen Höhenmessung ist in hohem Maße von den zwischenzeitlichen Luftdruckänderungen abhängig und liefert außerdem nur bedingte Höhengenauigkeit. Nach einem Vorschlag von H. Lichte [2] wurde daher bei der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition 1959 erstmals der Versuch unternommen, das geometrische Nivellement unter arktischen Bedingungen einzusetzen.

Aufgabe

Eine geschlossene Darstellung des wissenschaftlichen Programms hat R. Finsterwalder gebracht [3].

Aufgabe der Arbeitsgruppe Nivellement war es, längs des geodätisch-geophysikalischen West-Ost-Profils in etwa 70° nördl. Breite Grönlands von der Disko Bugt an der Westküste Grönlands über Station Centrale und Station Jarl-Joset bis zum Cecilia Nunatak an der

POLAR PAM 5763 POLARPAM
LIBRARY
BOREAL INSTITUTE
MAR 16 1961

Internationale Glaziologische Grönland-Expedition, Sommerkampagne 1959.

------ Anmarschweg vom Flughafen zum Operationsgebiet;
——— Nivellement im Ost-West-Profil;
-·-·-·- Übriges Operationsgebiet ohne Nivellement.

Ostküste Grönlands eine exakte Höhenbestimmung durchzuführen, die den Anforderungen der Glaziologie und Geophysik genügt. Dabei sollten die absoluten Höhen über NN der einzumessenden Festpunkte nicht mehr als ± 1 m unsicher sein. Für die relativen Höhenunterschiede benachbarter Punkte war eine größere Genauigkeit anzustreben, um die vertikalen Eisbewegungen, die sich aber erst später durch Wiederholungsmessungen ergeben werden, möglichst genau zu erfassen. Das Nivellement sollte im Westen Grönlands an den Punkt A 14 zwischen den alten Lagern Camp II und Camp III der Expéditions Polaires Francaises (EPF) angeschlossen werden, dessen Höhe über dem Meerespegel (560,4 m) durch trigonometrische Höhenübertragung bereits 1948 durch A. Bauer [5] bestimmt war. Am westlichen Rande des Inlandeises sollten im Bruch- und Spaltengebiet die Ablationspegel der Arbeitsgruppe Küstenglaziologie, die bereits bei der Vorexpedition 1958 gesetzt waren, zu Fuß und im Anschluß daran im Akkumulationsgebiet des Inlandeises Festpunkte, sogenannte Balisen (Aluminiumrohre), mit Fahrzeugunterstützung einnivelliert werden. Es war Aufgabe der Gruppe Lagemessung, diese Balisen zu setzen und zu koordinieren.

Die barometrische Höhenmessung hat von jeher bei Expeditionen eine bedeutende Rolle gespielt, da sie oftmals die einzige Möglichkeit bietet, ein Gebiet rasch mit ausreichender Genauigkeit höhenmäßig zu erschließen. Sie wird auch in Zukunft nicht an Bedeutung verlieren und vor allem bei Polarexpeditionen immer wieder dort Anwendung finden, wo sie hinreichend genaue Ergebnisse bringt. So erschien es gerade bei dieser Expedition gegeben, eine barometrische Höhenbestimmung durchzuführen, da das Nivellement genaueste Vergleichswerte liefert. Es galt, den Anwendungsbereich und verschiedene Verfahren der barometrischen Höhenmessung im Polargebiet näher zu untersuchen. Dieser Aufgabe hat sich besonders D. Möller gewidmet.

Versuchsmessungen und Vorbereitung

Da man sich auf keine bisherigen Erfahrungsberichte stützen konnte, bedurfte es bei der Vorbereitung des Nivellements einer sehr intensiven und systematischen Arbeit. Der Arbeitsgruppe Nivellement, die eine Teilgruppe der Gruppe Geodäsie war, gehörten als Mitarbeiter D. Möller (Karlsruhe), W. L. Pfrommer (Karlsruhe), K. Schnädelbach (Bergzabern/Pfalz) und der Verfasser an. Leiter der Gesamtgruppe Geodäsie (Lagemessung und Nivellement) war W. Hofmann (München), dessen verdienstvolle Leistung bei der Vorbereitung der geodätischen Arbeiten besonders erwähnt werden muß.

Die ersten Nivellementsversuche wurden von W. Hofmann im Rahmen des „Kurses für Hochgebirgsforschung" im August 1957 auf dem Firnfeld des Großen Gurgler Ferners in den Ötztaler Alpen durchgeführt [4]. Diese Versuche galten hauptsächlich der Anwendbarkeit eines Fußnivellements, wobei ein automatisch horizontierendes Nivellierinstrument INA von Ertel verwendet wurde. Um ein Einsinken von Stativ und Latte während der Messung auszuschließen, wurden die Stativfüße auf Holzscheiben von 15 cm Durchmesser gestellt. Die Latte wurde auf einen Holzstab gesetzt, der durch den weichen Oberflächenfirn bis auf den festen Horizont im Untergrund eingetrieben war. Mit dieser provisorischen Anordnung, die sich schon recht gut bewährte, wurde aus einem 4,2 km langen Nivellement bei Zielweiten von 100 m ein mittlerer Kilometerfehler von ± 3 mm für das einfache Nivellement abgeleitet. Bei Verwendung von nur einer Latte und Ablesung an drei Fäden konnte eine Leistung von 1 km/Stunde erreicht werden.

Ein weiteres Versuchsnivellement wurde im Februar 1958 auf dem Jungfraujoch durchgeführt. Die Mannschaft unter der Leitung von W. Hofmann war mit zwei Nivellierinstrumenten Ni 2 arctic und zwei Nivellierlatten ausgerüstet. Bei sehr böigem Wetter mit Treibschnee und einer Temperatur von —7° wurde eine 800 m lange Schleife als unabhängiges Doppelnivellement dreimal gemessen. Die Zielweiten lagen bei 100 m. Es galt dabei vor allem, die Messung für ein vorgesehenes Nivellement mit Fahrzeugen auf ihre zweckmäßigste Anordnung näher zu untersuchen.

Gegenüber den ersten Versuchen auf dem Gurgler Ferner waren bereits zwei wesentliche Verbesserungen getroffen worden. An den Stativspitzen waren Schneeteller aus Metall von

etwa 20 cm Durchmesser befestigt worden und die Latten wurde auf Holzscheiben von 40 cm Durchmesser gesetzt. Beide Maßnahmen, die das Einsinken der Instrumente verhindern und einen festen Aufsatz für die Latten schaffen sollten, erwiesen sich als sehr zweckmäßig. Bei den ständig auffrischenden Böen bis 14 m/sec vibrierte das Lattenbild mitunter so heftig, daß Ablesungen praktisch unmöglich waren. Ähnliche, aber wesentlich schwächere Erscheinungen waren bereits bei den Messungen auf dem Gurgler Ferner beobachtet worden. Da auch in Grönland mit gleichen Windverhältnissen zu rechnen war, lag der Gedanke nahe, starre Stative zu verwenden, die einen wesentlich festeren Stand haben. Ein gleichmäßiger Gletscherwind störte die Beobachtungen nicht. Für das Doppelnivellement ergab sich ein mittlerer Kilometerfehler von $\pm$ 5 mm. Der Arbeitsfortschritt lag bei 1 km/Stunde. Diese Ergebnisse ließen erkennen, daß das Nivellement eine Höhengenauigkeit liefert, die für glaziologische Zwecke ausreicht, und auch die zu erwartende Arbeitsleistung war zufriedenstellend.

Bevor die Kettenfahrzeuge, sog. Weasel, im Herbst 1958 mit dem Schiff nach Grönland gebracht wurden, fanden in Fontainebleau bei Paris, wo die Weasel für die Expedition bereitgestellt wurden, im August 1958 nochmals Versuchsmessungen statt. Für diese Messungen mit den Fahrzeugen stand bereits die volle Ausrüstung zur Verfügung, und die Messungen wurden so durchgeführt, wie sie in dem Abschnitt „Nivellement über das Inlandeis" näher beschrieben sind. Die in der Werkstatt des Instituts für Photogrammetrie der T. H. München entworfene und gebaute Lattenbefestigung an den Fahrzeugen erwies sich allerdings nicht als zweckmäßig, da vor allem das Richten der Latte eine erhebliche Zeit in Anspruch nahm. Die Latte war oben an einem Galgen aufgehängt und konnte durch einen Arm mit zwei senkrecht zueinander gerichteten Schienenführungen, der im unteren Drittel der Latte angriff, bewegt und senkrecht gestellt werden. Diese Vorrichtung war gewählt worden, um der Latte eine möglichst große Stabilität zu geben, wurde aber später durch eine einfache Kugelgelenkhalterung ersetzt, die sich bei der Expedition sehr gut bewährt hat. Die Messung einer 1 km langen Schleife brachte in mehreren Durchgängen bei Zielweiten von 100 m Widersprüche bis 3 mm. Obwohl die Geländeverhältnisse sehr günstig waren, wurden für ein 1 km langes Nivellement mit 3-Fadenablesungen etwa 80 Minuten benötigt. Dieser hohe Zeitaufwand war vorwiegend darauf zurückzuführen, daß die Beobachter und Schreiber mit der Messungsanordnung noch nicht genügend genug vertraut waren. Trotzdem waren die Ergebnisse befriedigend und auch diese Versuche haben wesentlich zum Gelingen des Unternehmens beigetragen.

Vor Beginn und nach Beendigung der Expedition wurden die Nivellierlatten in den Klimaräumen der Bundesforschungsanstalt für Lebensmittelfrischhaltung, Karlsruhe, bei Temperaturen von + 20°, 0°, —12°, —24° und —35° C geeicht.

Die instrumentelle Ausrüstung wurde in dankenswerter Weise vom Deutschen Geodätischen Forschungsinstitut München und Frankfurt, vom Institut für Photogrammetrie der T. H. München und vom Geodätischen Institut der T. H. Karlsruhe zur Verfügung gestellt. Außerdem wurden der Gruppe vom Bundesministerium für Verteidigung für die Dauer der Expedition zwei Handfunksprechgeräte übergeben. Mit Unterstützung der Deutschen Forschungsgemeinschaft wurde die Ausrüstung vervollständigt und den besonderen Verhältnissen der Arktis angepaßt.

Fußnivellement

Nach einem 500 km langen Anmarschweg vom Flughafen Søndre Strømfjord an der Westküste Mittelgrönlands über das Inlandeis erreichte die Expedition am 1. Mai den Standort des Lagers Camp VI EGIG. Mit Unterstützung von Versorgungsflugzeugen wurde hier ein Hauptversorgungslager errichtet, das etwa 100 km östlich der Disko Bugt auf dem Inlandeis im Operationsgebiet liegt.

Entscheidend für das Gelingen des Fußnivellements war eine eingehende Erkundung des Marschweges, die während der Errichtung vom Camp VI EGIG unter Leitung von A. Bauer mit zwei Hubschraubern durchgeführt wurde. Die Grundlage für die Erkundung bildete eine Karte, die A. Bauer 1958 auf Grund von Luftbildern gefertigt hatte. Die Erkundungs-

flüge ergaben, daß man das Fußnivellement durch das Bruch- und Spaltengebiet nicht wie vorgesehen vom Camp VI EGIG, sondern von dem etwa 30 km weiter westlich gelegenen Camp Séismique EPF infolge günstiger Schnee- und Geländeverhältnisse beginnen lassen konnte. Dadurch wurde die besonders schwierige Marschroute bis zum Randgebirge auf rund 65 km verkürzt. Für die Versorgung der Nivellementsgruppe wurden in Abständen von 4 bis 5 km insgesamt 14 Verpflegungslager durch Hubschrauber eingerichtet und die Wegstrecke in Abständen von 1 bis 2 km durch Fähnchen gekennzeichnet. Zur Unterstützung der 4 Geodäten haben als Lattenträger der Arzt der Überwinterungsstation H. G. DE SYPIORSKI und O. SCHIMPP von der Gruppe Küstenglaziologie am Fußnivellement teilgenommen. Ohne die hilfsbereite und aufopfernde Mitarbeit der Genannten hätte die unter den schwierigen Verhältnissen durchgeführte Messung nicht erfolgreich beendet werden können.

Am 11. Mai konnten die Arbeiten nach gründlicher Vorbereitung beginnen. Die Gruppe war während dieser Operation völlig auf sich angewiesen und mußte daher 2 Zelte und die lebensnotwendige Ausrüstung auf 2 Handschlitten mitführen. Da die Marschroute über größere und zum Teil noch durch Schnee verdeckte und daher nicht sichtbare Gletscherspalten verlief, war eine gegenseitige Sicherung der Mannschaft durch Seile erforderlich. Die Mannschaft war aufgeteilt in 2 Beobachter, 2 Schreiber und 2 Lattenträger, wobei die beiden Schreiber und die beiden Lattenträger zusammen je 1 Schlitten ziehen mußten. Beobachter und Schreiber wechselten ihre Tätigkeit alle 2 Tage.

Das Nivellement wurde als Vierfachnivellement, das einem unabhängigen Doppelnivellement entspricht, mit 2 Ni 2 arctic auf starren Stativen und 2 4 m-Klapplatten (E-Teilung) durchgeführt. Die Messungsanordnung ist in Abbildung 1 schematisch dargestellt. Mit den beiden Instrumenten I_1 und I_2 wurden die beiden getrennt stehenden Latten A und B abgelesen, wobei sich als Standpunktkontrollen für den Vorblick $\Delta V_1 = V_A - V_B = \Delta V_2$ und für den Rückblick $\Delta R_1 = R_A - R_B = \Delta R_2$ ergaben. Außerdem konnte die Standfestigkeit der Latten während des Instrumentenwechsels vom Standpunkt n zum Standpunkt $n + 1$ dadurch kontrolliert werden, daß $\Delta V_n = \Delta R_{n+1}$ sein mußte. Um ein befürchtetes Einsinken der Instrumente während des Lattenwechsels zu erfassen, wurde ein in etwa 10 m von den Instrumenten in den Firn eingerammter Kontrollstab vor Beginn und nach Beendigung der Beobachtungen abgelesen. Es zeigte sich, daß weder die Latten, die auf einen Knopf zweier Holzplatten von 40 cm Durchmesser aufgesetzt wurden, noch die Instrumente, deren Stativfüße mit Schneetellern von 20 cm Durchmesser ausgerüstet waren, während der Messung und des Wechsels, was 5 bis 15 Minuten dauerte, ihre Lage änderten.

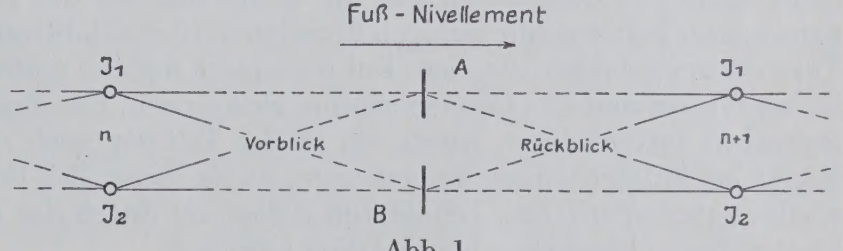

Abb. 1

Die ursprünglich vorgesehenen Zielweiten von 100 m konnten nicht eingehalten werden, da die Schnee- und Eisoberfläche ausgeprägte Täler und Höhenrücken mit Geländeneigungen bis zu 10% aufwies. Je nach den Geländeverhältnissen ergaben sich Zielweiten von 15 bis 120 m. Um instrumentelle Fehler auszuschalten, wurde auf gleiche Zielweiten im Vor- und Rückblick besonders geachtet. Die Aufschreibung der Beobachtungen erfolgte für jedes Instrument getrennt. Aus Abbildung 2 ist das Schema ersichtlich. Die Spalten 1 bis 3 enthalten die Bezeichnungen der Standpunkte, die Entfernungen für den Rück- und Vorblick und die Ablesungen am Kontrollstab zu Beginn und nach Beendigung einer Standpunktbeobachtung. In den Spalten 4 bis 7 und 8 bis 11 wurden die Beobachtungen, die Höhenunterschiede und die Höhen für die Lattenstandpunkte A und B eingetragen und in Spalte 12 die Kontrollrechnungen durchgeführt. Erst nach Überprüfung durch die beiden Schreiber wurden die Lattenträger abgerufen bzw. die Instrumentenstandpunkte gewechselt.

Der fast ununterbrochen wehende Gletscherwind wirkte sich nur bei Geschwindigkeiten über 10 m/sec hinderlich aus, wobei es nicht mehr möglich war, die Latten ruhig zu halten.

Feldbuch für das Fußnivellement

Instrument 1

Standpunkt	Entfernung R / V	Kontrollstab A / E	Latte A R	Latte A V	Latte A ΔH	Latte A H	Latte B R	Latte B V	Latte B ΔH	Latte B H	ΔR / ΔV
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
127						1270,980				1271,064	
128	80 83	1712 1712	0849	1795	−0946	1270,034	0765	1839	−1074	1269,990	+84 −44
129	75 72	1839 1839	1650	1991	−0341	1269,693	1696	1999	−0303	1269.687	−46 − 8

Instrument 2

127						1270,974				1271,068	
128	80 83	1613 1613	0751	1696	−0945	1270,029	0667	1740	−1073	1269,995	+84 −44
129	75 72	1720 1720	1530	1869	−0339	1269,690	1575	1876	−0301	1269,694	−45 − 7

Abb. 2

Außerdem brachten höhere Windgeschwindigkeiten eine Schneedrift mit sich, die die Sicht und vor allem die Orientierung unmöglich machte und zum Abbruch der Messungen zwang. Wenn bei solchen Witterungsverhältnissen und auch bei Anbruch der Nachtstunden einer der 8 m tief ins Eis eingebohrten festen Ablationspegel nicht erreicht war, mußte die Höhe auf freier Strecke festgehalten werden. Das geschah mit Hilfe der beiden Holzplatten und einem 1 m langen Eisenrohr, die in den Firn eingegraben bzw. eingeschlagen und mit Schnee abgedeckt wurden. Der möglichst tief eingerammte Kontrollstab diente zur weiteren Sicherung. Die Überprüfung bei Fortsetzung der Messung ergab, daß die relativen Höhen der Punkte untereinander in einem Zeitraum von 1 bis 2 Tagen unverändert blieben.

Auf der Hälfte des Weges zum Felsrand wurde die Gruppe durch plötzlich eingetretene Schneeschmelze überrascht, was die Weiterführung des Nivellements sehr erschwerte. In ganz kurzer Zeit von nur wenigen Stunden hatten sich Ströme mit Schmelzwasser und in den Tälern Seen gebildet, die zum Teil überquert werden mußten, wobei die Teilnehmer öfters in das Wasser und den Gletschersumpf einbrachen. Um die Messungen mit der notwendigen Sicherheit fortzuführen, wurde ein großer Teil der noch zurückzulegenden Strecke in der Nacht bei Mitternachtsonne gemessen, da zu dieser Zeit der Frost das Schnee- und Eisfeld wieder gangbar machte. Die letzten Kilometer durch das Bruchgebiet legte die Gruppe in 22-stündiger ununterbrochener Arbeit zurück.

Nach 13 Tagen, am 23. Mai, und nach Überwindung eines Höhenunterschiedes von 788 m konnte das Fußnivellement vom Camp Séismique bis zu dem höhenmäßig festgelegten Punkt A 14 auf dem festen Fels erfolgreich beendet werden, und mit Hubschraubern flogen die Teilnehmer nach Camp VI EGIG zurück. Die rund 65 km wurden unter Abzug von 4 Schlechtwettertagen in 9 Tagen mit einer durchschnittlichen Tagesleistung von 7,2 km/Tag zurückgelegt, wobei als effektive Arbeitszeit durchschnittlich 9 Stunden auf 1 Arbeitstag entfallen. Das Ergebnis wird die absoluten Höhen von 10 Ablationspegeln liefern. Für eine spätere Wiederholungsmessung wurden für den Höhenanschluß in unmittelbarer Nähe des Höhenfestpunktes A 14, der durch eine Felskuppe markiert ist, 2 Höhenbolzen in den Fels einbetoniert.

Nivellement über das Inlandeis

Für das Nivellement über das Inlandeis standen 2 Weasel, 1 Transportschlitten und 1 Wohnschlitten zur Verfügung. Die Gruppe fand in L. Faivre nicht nur einen ausgezeichneten Mechaniker, sondern auch einen mehrfach bewährten und polarerfahrenen Gruppen-

leiter. Als Funker und zugleich Fahrer des zweiten Fahrzeuges gehörte R. CORNEC der Gruppe an. Nach Übernahme und Installation der Fahrzeuge begann das Nivellement über das Inlandeis am 28. Mai. Der Höhenanschluß bei Camp Séismique erfolgte an eine zu Beginn des Fußnivellements gesetzte und versicherte 8 m lange Balise. Die Höhenübertragung wurde als unabhängiges Doppelnivellement (Vierfachnivellement) mit 2 Ni 2 arctic und Invarlatten mit Schachbretteilung durchgeführt, und die Fortbewegung erfolgte mit Weaseln im Sprungverfahren. Die 3 m-Invarlatten mit beiderseitiger Teilung und Stirnteilung, von der Firma Nestle & Fischer hergestellt, waren mit Halterungen an den Fahrzeugen aufgehängt. Vorn an der Halterung war ein Kugelgelenk angebracht, so daß die Latte mit einem Handgriff und ohne Zeitverlust senkrecht gestellt werden konnte. Die Halterungen waren in der Werkstatt des Instituts für Photogrammetrie der T. H. München gebaut und auf einem Rüttelstand auf Festigkeit geprüft worden. Das Kugelgelenk wurde von der Firma Linhof geliefert. Die Latten hatten von der Fahrzeugwand einen Abstand von 60 cm und eine Bodenfreiheit von etwa 25 cm. Abbildung 3 zeigt die Lattenaufhängung, und in Abbildung 4 ist die Messungsanordnung und die Reihenfolge der Beobachtungen auf den Standpunkten ersichtlich.

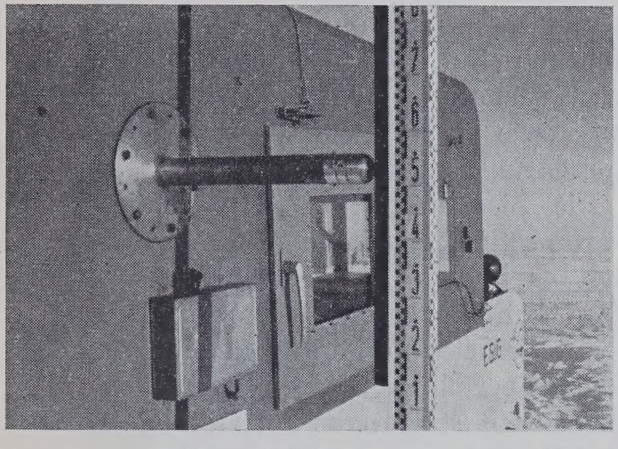

Abb. 3
Lattenaufhängung am Weasel

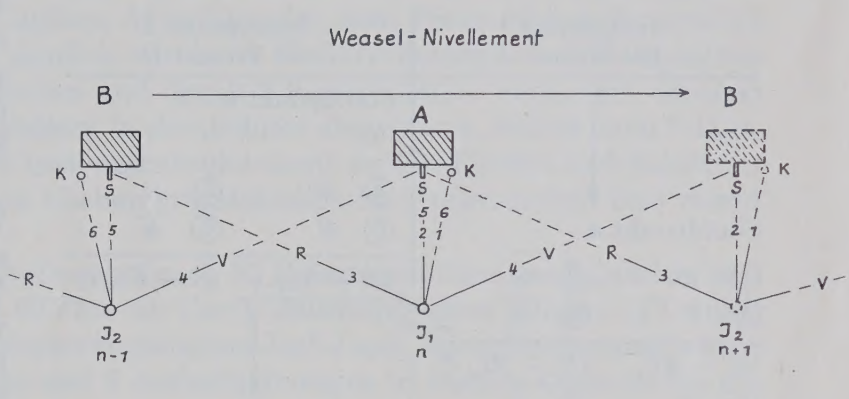

Abb. 4

Die beiden Beobachter stellten die Instrumente senkrecht zur Fahrtrichtung in einem Abstand von 10 bis 20 m gegenüber den Fahrzeugen auf. Der Beobachter A am vorderen Weasel begann mit der Ablesung des Kontrollstabes ① K_n, dann folgte die Ablesung an der Stirnteilung der eigenen Weasellatte ② S_n und schließlich wurde über die Fernsicht der Rückblick ③ R_n genommen. Zur gleichen Zeit beobachtete der Beobachter B beim hinteren Fahrzeug den Vorblick ④ V_{n-1}, die Stirnteilung der eigenen Weasellatte ⑤ S_{n-1} und den Kontrollstab ⑥ K_{n-1}. Durch die gegenseitige Beobachtung beider Weasellatten ergab sich eine Standpunktkontrolle $\Delta H_{n-1} = (V - S)_{n-1} = (S - R)_n = \Delta H_n$. Die Höhenunterschiede ΔH wurden von den Schreibern, die in den Fahrzeugen saßen, mit den Funksprechgeräten AN/PRC 6 gegenseitig ausgetauscht und überprüft. Die Vergleichshöhenunterschiede schwankten bei justierten Instrumenten zwischen 0 und 3 mm. Erst nach vorgenommener Kontrolle fuhr das jeweils rückwärtige Weasel nach vorn, wobei es das vordere Weasel um die gleiche Entfernung „übersprang" (gleiche Zielweiten). Die Entfernungen wurden mit einem eingebauten Schrittzähler gemessen (62 Einheiten = 100 m).

Um ein Einsinken von Instrument und Latte während des Sprungs zu erfassen, wurde vor Beginn und nach Beendigung der Beobachtungen ein Kontrollstab abgelesen. Es hat sich gezeigt, daß die Instrumente während des etwa 9 Minuten dauernden Standes ihren Horizont beibehielten, dagegen die Fahrzeuge und damit die Latten innerhalb weniger Minuten bis zu 3 mm einsanken. Die Nivellierlatten wurden vor jeder Standpunktbeobachtung von den Beobachtern mittels einer Dosenlibelle senkrecht gerichtet und für die Weiterfahrt schräg gestellt. Der Schreiber rammte vom Fahrzeug aus den Kontrollstab bis zu 50 cm tief in den Firn. Eine Setzung des Weasels hat den Horizont des Kontrollstabes nicht beein-

flußt. Die Beobachter saßen während der Fahrt mit ihrem Instrument je nach der Wetterlage in der offenen Weaseltür oder auf dem mitgeführten Schlitten bzw. in der offenen Tür des Wohnschlittens. Schreiber und Beobachter wechselten sich in ihrer Tätigkeit alle 2 Tage ab.

Die Verständigung zwischen Beobachter und Schreiber bereitete keine besonderen Schwierigkeiten, da während der Messung die Fahrzeugmotoren abgestellt waren und die Fahrzeugtüren selbst bei tieferen Temperaturen bis —30° offengehalten werden konnten. Bei extremen Witterungsverhältnissen konnten sich Beobachter und Schreiber mit einer Sprechanlage verständigen, die speziell für diese Zwecke vom Institut für Hochfrequenztechnik der T. H. Karlsruhe entworfen und gebaut worden war. Die den Schreibern mitgeteilten Beobachtungswerte wurden für die Kontrollrechnung und für die laufende Nivellementsberechnung mit 2 Durchschlägen in je 2 Brunsviga-Handadditionsmaschinen AS 10 (Blocktastatur) niedergeschrieben. Für die Kontrollrechnungen waren die 9-stelligen Werke von 2 Maschinen in der 5. Stelle gesplittet und es konnte mit 2 getrennten Werken 4-stellig gerechnet werden. Ein Schema der Niederschrift ist in Abbildung 5 wiedergegeben, aus der die Reihenfolge der eingegebenen Werte in Verbindung mit Abbildung 4 und die gebildeten Differenzen ersichtlich sind. Die durch einen Funkpfeil verbundenen Differenzen wurden, wie bereits erläutert, durch Sprechfunk ausgetauscht.

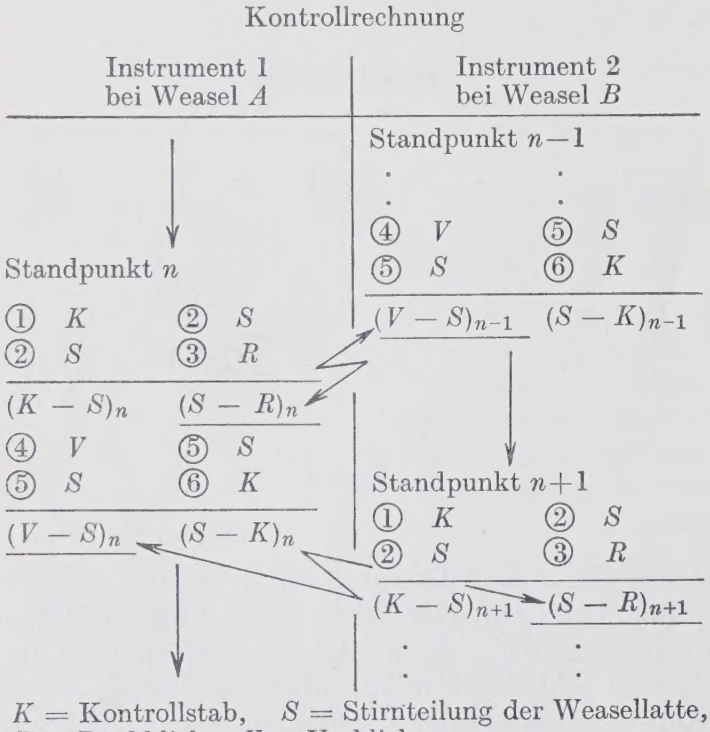

Abb. 5

Die Zielweiten beim Nivellement waren sehr verschieden und richteten sich nach den Geländeverhältnissen. Vom Camp Séismique bis etwa 250 km von der Küstenzone entfernt zeigte die Schneeoberfläche großräumige Wellenformen mit Steigungen und Gefälle bis zu 5% und noch darüber. Selbst bei Ausnutzung der gesamten Lattenlänge konnten öfters nur Zielweiten von 25 m genommen werden. Im Innern des Inlandeises war nur noch eine flache Steigung von 0,2—0,5% bis zum höchsten Profilpunkt Dépôt 275 (3180 m über NN) vorhanden. In derselben Größenordnung lag auch das Gefälle bis zur Überwinterungsstation Jarl-Joset, die rund 200 km von der Ostküste entfernt liegt. Als günstigste Zielweiten bei flachem Anstieg und Gefälle erwiesen sich Entfernungen von 70 Zählereinheiten = 113 m. Diese Distanz garantierte bei relativ rascher Marschgeschwindigkeit noch eine verhältnismäßig gute Schätzung der mm am Lattenbild.

Für die Höhenübertragung auf die von der Gruppe Lagemessung in Abständen von 8—17 km gesetzten Balisen wurde an das Aluminiumrohr eine Klammer angeschraubt, die seitlich einen Knopf als Lattenaufsatz trug. Die Klammer wurde jeweils auf die Balisenlänge eingemessen, so daß jederzeit die Höhen auf die Fußpunkte, die zur Zeit der Messung 3 m tief im Firn standen, oder auf die 7 m über den Firn ragenden Spitzen bezogen werden können.

Um einen Beitrag zu der sehr wichtigen Frage der Refraktion in den untersten Luftschichten über Eis zu liefern, wurden in Verbindung mit den 3 täglichen meteorologischen Beobachtungen (9°°, 15°°, 21°° grönländischer Zeit) während des gesamten Nivellements über das Inlandeis 3-Fadenablesungen bei Distanzen bis 130 m vorgenommen. Außerdem wurden in den Abend- und Morgenstunden nach Beendigung und vor Beginn des Nivelle-

ments durch besondere Messungsanordnungen Refraktionsbeobachtungen mit verschiedenen Zielstrahlhöhen und auf verschiedene Distanzen von 25, 50, 75 und 100 m in meist ½-stündiger Ablesung durchgeführt. Zweifellos ist vorwiegend in den Abendstunden bei starker Sonneneinstrahlung, Windstille und positivem Temperaturgradienten neben Flimmer- und Schwebungserscheinungen eine Neigung des Zielstrahles von mehreren mm auf 100 m Entfernung vorhanden. Die Frage des Refraktionseinflusses bedarf jedoch auf Grund des gesammelten Beobachtungsmaterials noch eingehender Klärung bei der Auswertung.

Die Wetterlage war während der Fahrt über das Inlandeis relativ gut. Bei flacher Schneedrift, leichtem Schneefall und Wind bis 16 m/sec war es möglich, die Messung fortzusetzen. Die Instrumente standen bei dieser Windgeschwindigkeit, die fast 60 km/h entspricht, auf den starren Stativen sehr fest. Der Kompensator zur automatischen Horizontierung der Ziellinie zeigte keine oder nur ganz leichte Schwingungen. Auch die Lattenbefestigungen mit den Kugelgelenken waren bei dieser Windgeschwindigkeit noch sehr stabil. Nur zu etwa 15% der Reisezeit über das Inlandeis herrschte so schlechtes Wetter mit Nebel, dichtem Schneefall oder hoher Schneedrift, daß die Messungen abgebrochen werden mußten. Die Temperatur schwankte von 0° bis — 30° und lag durchschnittlich bei—12°. Falls bei Einbruch von Schlechtwetter bzw. in den späten Abendstunden kein Festpunkt mehr erreicht war, wurden zur Höhensicherung — ähnlich wie beim Fußnivellement — 2 Holzplatten etwa 30 cm tief in den Schnee eingegraben und durch 2 Kontrollstäbe versichert. Ebenso wurden die Stativfüße mit den Schneetellern in den Schnee eingelassen. Selbst nach 2-tägigem stürmischen Wetter hatte sich der Instrumentenhorizont zu den Platten und Kontrollstäben nicht geändert. Die Instrumente blieben grundsätzlich im Freien stehen und waren mit einer Nylonhülle abgedeckt.

Am 28. Juli erreichte die Gruppe Nivellement nach 62 Reisetagen über das Inlandeis und einer zurückgelegten Entfernung von 605 km ab Camp Séismique über Milcent (17. Juni) und Station Centrale (1. Juli) die Überwinterungsstation Jarl-Joset. Diese Entfernung wurde unter Abzug von 9 Schlechtwettertagen und 2 Aufenthaltstagen in Station Centrale für die Übernahme von Lebensmitteln und Benzin mit einer durchschnittlichen Tagesleistung von 11,8 km/Tag zurückgelegt, wobei als effektive Arbeitszeit 10 Stunden auf 1 Arbeitstag entfallen. Die maximale Arbeitsleistung betrug 16,6 km/Tag. Es wurden 55 Balisen höhenmäßig eingemessen. Der Höhenunterschied von Camp Séismique bis zum Scheitelpunkt betrug rund + 1830 m und vom Scheitelpunkt bis zur Station Jarl-Joset ca. —310 m.

Nach dem Zeitplan, der vor Beginn der Expedition aufgestellt war und der den zeitlichen Expeditionsverlauf für die Arbeitsgruppen festlegte, traf die Gruppe Nivellement 18 Tage zu spät in Station Jarl-Joset ein. Dieser Zeitverlust ist auf die zu Beginn der Expedition eingetretenen Schwierigkeiten, auf den längeren Aufenthalt im Camp VI EGIG und auf die besonders schwierigen Verhältnisse während des Fußnivellements vom Camp Séismique bis zum Felsrand zurückzuführen. Die Transportgruppe, die am 1. April vom Flughafen Søndre Strømfjord mit sämtlichen Fahrzeugen, Transport- und Wohnschlitten zum Inlandeis aufgebrochen war, fand am Rande des Inlandeises etwa 35 km östlich des Flughafens eine chaotische Landschaft vor. Es war wenig Schnee gefallen und unzählige riesige Eisbuckel bildeten ein fast unüberwindbares Hindernis und verzögerte den Weitermarsch und das Manöverieren mit den Weaseln und den Anhängern beträchtlich. Der verlängerte Aufenhalt im Camp VI EGIG war insofern bedingt, als einmal durch mehrere Schlechtwettertage die Versorgungsflüge ausblieben und zum andern Lagerarbeiten, Vorbereitungen und vor allem die Erkundung der Marschroute mit Hubschraubern durch das Bruch- und Spaltengebiet notwendig waren. Nach den erfolgten Messungen in den Profilstücken Camp Séismique — A 14 am Felsrand und Camp Séismique — Camp VI EGIG verließ die Gruppe Nivellement bereits mit 18 Tagen Verspätung gegenüber dem Zeitplan Camp VI EGIG in östlicher Richtung. Das Weasel-Nivellement über das Inlandeis bis Station Jarl-Joset brachte keinen weiteren Zeitverlust.

Die fast dreiwöchige Verspätung und die von der Transportgruppe und von der Gruppe Lagemessung erkundeten schwierigen Geländeverhältnisse im Profilstück zwischen Dépôt

420 und Cecilia Nunatak führten zu dem Entschluß, das Nivellement in Station Jarl-Joset zu beenden. Der nahezu 150 km lange Abstieg von dem etwa 100 km nordöstlich Station Jarl-Joset gelegenen Dépôt 420 bis zum Cecilia Nunatak dürfte für das Nivellement wegen der terrassen- und wellenförmigen Absätze fast noch größere Geländeschwierigkeiten bieten, als es im westlichen Ablationsgebiet der Fall war. Unter diesen Verhältnissen wäre im weiteren Verlauf der Route bis Cecilia Nunatak wieder ein Fußnivellement erforderlich gewesen, und die Gruppe Nivellement hätte vor Mitte September das Ziel kaum erreicht. Eine Rückführung der Gruppe zu diesem späten Zeitpunkt über das Inlandeis bis zur Westküste erschien unmöglich, da sich schon im August die Wetterlage im allgemeinen merklich verschlechtert und der grönländische Winter einbricht. Eine Abholung der Gruppe an der Ostküste war im Operationsplan nicht vorgesehen und hätte auch kurzfristig nicht organisiert werden können. Ein direkter, von dem abgesteckten Profil der EGIG abweichender Durchgang in östlicher Richtung von Station Jarl-Joset zum nächstgelegenen Nunatak (etwa 150 km) war durch breite und gefahrvolle Gletscherspalten versperrt.

Eine Weiterführung des Nivellements von Station Centrale in nordöstlicher Richtung bis zum Dépôt 420 wäre zeitlich noch möglich gewesen, es wurde aber davon zugunsten barometrischer Höhenmessungen während des Rückmarsches über das Inlandeis Abstand genommen. Neben den barometrischen Höhenmessungen wurden bei der Rückfahrt an den glaziologisch besonders interessierenden Stellen bei den Deformationsbalisen um die Stationen Jarl-Joset, Centrale und Milcent Wiederholungsnivellements durchgeführt, die vielleicht schon gewisse Rückschlüsse auf relative Höhenänderungen gestatten.

Obwohl die Höhenübertragung ihren Abschluß nicht an der Ostküste fand, an der ohnehin bisher noch kein Höhenfestpunkt mit Anschluß an den Meerespegel Ostgrönland vorhanden ist, wurde durch dieses erste Nivellement, das in sich durch ein unabhängiges Doppelnivellement kontrolliert ist, für die glaziologischen Untersuchungen bereits eine wertvolle Grundlage geschaffen. Zu einem glaziologisch bedeutungsvollen Bestandteil wird das Nivellement aber erst dann, wenn in einigen Jahren Wiederholungsmessungen stattgefunden haben werden. Neben den relativen Höhenänderungen zwischen den Balisen, die zur Erfassung der Gletscherdynamik sehr wichtig sind, wird die absolute Höhenlage des Inlandeises zum Zeitpunkt des Nivellements von größter Bedeutung sein. Der Vergleich mit den absoluten Höhen eines späteren Nivellements wird zeigen, ob sich die Eisfläche in Grönland hebt, senkt oder gleichbleibt. Die Frage, ob die grönländische Eismasse, die rund 12% des gesamten Eisvolumens der Erde in sich schließt und ein Relikt der Eiszeit ist, auch von dem heute merkbaren Gletscherrückgang ergriffen ist, der an verschiedenen Stellen der Erde, besonders in den Alpen, festzustellen ist, kann noch nicht beantwortet werden. Ein Abschmelzen des grönländischen Eisschildes würde eine Hebung des Wasserspiegels der Weltmeere um 6—7 m zur Folge haben [3]. Eine zusammenfassende Darstellung über die glaziologischen Verhältnisse Grönlands auf Grund bisheriger Expeditionsergebnisse der EPF ist von A. Bauer bearbeitet worden [6].

Genauigkeit

Erst nach den Wiederholungsmessungen, die die vertikalen Eisbewegungen klar erkennen lassen werden, wird eine exakte Untersuchung der absoluten Höhengenauigkeit möglich sein. Man kann jedoch aus den vorläufigen Differenzen des unabhängigen Doppelnivellements ein Maß für die zu erwartende Größenordnung der inneren Genauigkeit des Nivellements erhalten. Diese Genauigkeit wird beeinflußt durch ein nicht mehr erfaßbares Einsinken von Latte und Instrument, instrumentelle Fehler, Lattenteilungsfehler, Refraktionsstörungen und durch Ablesefehler, die infolge von Schätzungsfehlern und verschiedener Beleuchtungseinflüsse hervorgerufen werden. Der hieraus resultierende und zu erwartende mittlere Kilometerfehler für das Doppelnivellement wird für das Fußnivellement durch das Spaltengebiet und für das Weaselnivellement über das Inlandeis in der Größenordnung von $\pm 1{,}5$ cm liegen. Somit dürfte der relative Höhenunterschied von Balise zu Balise, die 8—17 km auseinanderliegen, auf 4—6 cm genau bestimmt sein. Diese Genauigkeit wird man mit der trigonometrischen Höhenübertragung infolge der starken Refraktionsstörungen

selbst bei Zielweiten von nur 1 km — wie Lichte nachgewiesen hat [2] — nie erreichen. Auch wird die Marschgeschwindigkeit bei so relativ kleinen Zielweiten keinesfalls größer, vielleicht sogar geringer sein als beim geometrischen Nivellement.

Dieser kurze Hinweis läßt schon erkennen, daß das geometrische Nivellement vor allem auf dem flach ansteigenden Inlandeis seine Berechtigung hat. Selbst in den steileren Randgebieten, in den Bruch- und Spaltenzonen, kann es erfolgreich und mit Genauigkeitsgewinn — wie die Durchführung beweist — eingesetzt werden, wenn auch die Messung stets mit technischen Schwierigkeiten und erheblichen körperlichen Anstrengungen verbunden sein wird. Nur in Ausnahmefällen, wenn es gilt, breite Spalten zu überqueren, oder sehr steil abfallende Bruchstreifen zu überwinden, wird man die trigonometrische Messung als Hilfsmessung anwenden, aber dann auch nur mit möglichst kurzen Zielweiten.

Barometrische Höhenmessungen

Neben dem Nivellement wurde eine barometrische Höhenmessung mit 6 Aneroiden, (5 Bodenhöhenmessern von Thommen, Schweiz, und 1 Aneroid von Fuess) durchgeführt. In jedem Weasel waren 3 Instrumente in besonderen Halterungen, die in der Werkstatt des Geodätischen Instituts der T. H. Karlsruhe konstruiert und gebaut worden waren, gefedert und kardanisch aufgehängt. Es war vorgesehen, auf jedem Beobachtungsstandpunkt und während des Sprunges beim Vorbeifahren an dem stehenden Weasel die Aneroide abzulesen. Die anfänglichen Versuche haben gezeigt, daß sich die Aneroide während der Fahrt infolge der starken Schwankungen nur ungenau ablesen ließen. Ein nochmaliges Halten hätte einen erheblich größeren Zeitaufwand mit sich gebracht, zumal die Instrumente nicht sofort reagieren und erst nach einigen Minuten den tatsächlichen Luftdruck anzeigen. Dadurch wäre eine zeitliche Verzögerung eingetreten, die für das Hauptnivellement nicht tragbar erschien. Bei einem verlängerten Aufenthalt von nur 1 Minute pro Standpunkt hätte diese Verzögerung bei den nehezu 6000 Beobachtungsstandpunkten, die für die Höhenübertragung vom Camp Séismique bis Station Jarl-Joset notwendig waren, einen Zeitverlust von 10 Arbeitstagen gebracht. Daher erfolgte die barometrische Beobachtung im Stehen nur auf jedem 10. Standpunkt und an den Balisen. Die Außentemperatur wurde mit 2 Schleuderthermometern gemessen und der absolute Luftdruck jeden Morgen mit einem Hypsometer bestimmt. Die Ergebnisse des barometrischen Nivellements müssen bei der Auswertung um die zwischenzeitlichen Luftdruckschwankungen reduziert werden. Diese wurden von 4 Stationsbarographen registriert, die in Abständen von 150—260 km in den Profilhauptpunkten Camp VI EGIG, Milcent, Station Centrale und Station Jarl-Joset aufgestellt waren. Weitere 2 Präzisionsbarographen der Bauart „Frankfurt" des Geodätischen Instituts der T. H. Karlsruhe waren schon vor Beginn der Expedition vom dänischen Wetterdienst auf den Küstenstationen Egedesminde und Scoresbysund in Betrieb genommen worden. Das Ergebnis dieser Messungen wird insofern von Bedeutung sein, da es über den Anwendungsbereich und die Genauigkeit dieses einfachen Verfahrens eine Aussage geben und besonders für antarktische Expeditionen von Bedeutung sein wird.

Auf dem Rückweg über das Inlandeis, der am 3. August begann, wurde auf der 262 km langen Strecke von Station Jarl-Joset bis Station Centrale im Sprungverfahren gemessen. Bei diesem Verfahren bewegte sich immer nur ein Fahrzeug, und zwar das hintere, das an dem vorderen bis zum nächsten Beobachtungsstandpunkt vorbeifuhr. Wegen der laufenden Vergleichsmöglichkeiten der Instrumente beim Überholen, der Erfassung der zwischenzeitlichen Luftdruckschwankungen durch die Barometer des stehenden Fahrzeuges und der gleichzeitigen Ablesungen auf benachbarten Standpunkten dürften beim Sprungverfahren die genauesten barometrischen Ergebnisse zu erwarten sein. Da die durchschnittlichen Balisenabstände von rd. 12 km zu groß erschienen, wurden in Abständen von 4—5 km Zwischenpunkte zur Beobachtung eingeschaltet. Für den Zeitpunkt der gleichzeitigen Ablesungen der Barometer wurden gegenseitige Winkzeichen mit Fahnen gegeben. Die Temperaturmessung erfolgte mit 2 Aspirationspsychrometern. Bei einer durchschnittlichen Marschleistung von 35 km/Tag erreichte die Gruppe nach 7 Tagen am 10. 8. Station Centrale.

University of Alberta Library
0 1620 0338 4599

Für die Weitermessung in Richtung Camp VI EGIG kam im folgenden Abschnitt das Parallelverfahren zur Anwendung, wobei sich die Fahrzeuge in Abständen von 3—4 km gleichzeitig von Standpunkt zu Standpunkt fortbewegten. Bei diesem Verfahren steigerte sich die Marschgeschwindigkeit auf durchschnittlich 66 km/Tag. Leider konnte die barometrische Höhenmessung nicht bis Camp VI EGIG fortgesetzt werden, da eines der Funkgeräte BC—1000, die in dem nunmehr welligen Schneegelände zur Verständigung zwischen den Fahrzeugen dienten, ausfiel. Außerdem war die Sichtmöglichkeit wegen einer inzwischen eingetretenen hohen Schneedrift nur auf wenige 100 m beschränkt. In Anbetracht des kurz bevorstehenden Abtransportes vom Inlandeis durfte ein Zeitverlust nicht auftreten, und die Messungen mußten am 15. August 70 km vor Camp VI EGIG abgebrochen werden. Insgesamt wurden in diesem Verfahren 230 km zurückgelegt.

Zusammenfassung

Die geglückte Höhenübertragung über das grönländische Inlandeis auf eine Entfernung von fast 700 km hat gezeigt, daß das geometrische Nivellement auch bei den extremen Klima- und Witterungsverhältnissen der Arktis über Eis und Schnee anwendbar ist. Die Meßverfahren und die mitgeführten Geräte und Instrumente, vor allem die Ni 2 arctic, haben diese Bewährungsprobe bestanden. Nach den vorläufigen Berechnungen übertreffen die Genauigkeiten das von seiten der Glaziologie und Geophysik geforderte Maß. Voraussetzung für den Erfolg aber war — wie bei allen Arbeitsgruppen — der gute und kameradschaftliche Geist, der die Teilnehmer aus den beteiligten Ländern Frankreich, Dänemark, Österreich, der Schweiz und Deutschland während der Expedition zusammenhielt. Besondere Anerkennung verdient die hervorragende Organisation, die in Händen der EPF unter Leitung von Paul-Emile Victor, Paris, lag. Erwähnenswert ist auch die verdienstvolle Leistung von A. Bauer, Straßburg, der als Generalsekretär des Direktionskomites das wissenschaftliche Arbeitsprogramm koordinierte. Es bleibt nur zu wünschen, daß sich das internationale Freundschaftsband weiterhin festigt und sich fruchtbringend auf die weiteren gemeinsamen wissenschaftlichen Forschungsarbeiten auswirkt.

Literatur

[1] Hofmann, W., Die geodätische Lagemessung bei der Sommerkampagne 1959 der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition (EGIG).
ZfV 1960, S. 46.

[2] Lichte, H., Geodätische Messungen auf dem grönländischen Inlandeis.
ZfV 1957, S. 47 und 65.

[3] Finsterwalder, R., Polarforschung und Internationale Glaziologische Grönland-Expedition 1957/60.
Sonderdruck 5 aus den Sitzungsberichten 1958 der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, math.-naturwiss. Klasse, München 1958.

[4] Hofmann, W., Nivellement-Versuche im Firnfeld des Großen Gurgler Ferners.
ZfV 1958, S. 108.

[5] Bauer, A., Triangulation côtière de la région de l'EQE-Campagne au Groenland 1948.
Annales de Géophysique 9, 1, 1953, S. 44.

[6] Bauer, A., Synthese Glaziologique.
Contribution a la Connaissance de l'Inlandsis du Groenland (Deuxième Partie), Exp. Pol. Franc., AIHS Rome 1954, tome IV, Nr. 39.